

1 IAP20 Rec'd PCT/PTO 09 JUN 2006

Orbitalschweissvorrichtung für den Rohrleitungsbau

Die Erfindung betrifft eine Orbital-schweissvorrichtung zum Fügen von Rohrleitungen mittels einer Umfangsschweissnaht, 5 insbesondere zum Orbital-schweissen von Pipelines im mobilen Einsatz.

Vorrichtungen zum Schweissen von Rohren entlang des Rohrumfangs sind seit längerem bekannt und werden als 10 Orbital-schweissvorrichtungen bezeichnet. Im Durchmesserbereich von 50 mm bis über 1.500 mm und im Wanddickenbereich von 2,5 mm bis über 25 mm haben die mobilen Orbital-schweissverfahren die zuvor angewandte Muffenverbindungs- und Schraubenverbindungstechnik im 15 Wesentlichen abgelöst. Während die meisten Industrieschweissanlagen stationär in von Umgebungseinflüssen abgeschirmten Industriehallen betrieben werden oder zumindest die Schweissarbeiten an einem stationären Produkt durchgeführt werden, bewegen sich die Produktionsmittel bei 20 Linienbaustellen des Rohrleitungsbaus, beispielsweise des Pipelinebaus, entlang des fertig zu stellenden Produkts und sind dabei allen Einflüssen der wechselnden Umgebung und der unterschiedlichen Witterung ausgesetzt. Oft steht nur eine sehr eingeschränkte Infrastruktur zur Verfügung, weshalb auf 25 eine feste Strom-, Wasser- und/oder Gasversorgung, wie sie bei stationären Industrieschweissanlagen selbstverständlich sind, vollkommen verzichtet werden muss, so dass auf mobile Generatoren, mobile Wärmetauscher und transportable Fluid- und Gastanks zurückgegriffen werden muss, die beispielsweise auf 30 mindestens einem Transportfahrzeug längs zur Rohrleitung mittransportiert werden. Rohrschweissarbeiten sind regelmässig neben dem herzustellenden Rohrgraben oder im Rohrgraben selbst bei liegender Rohrachse in Zwangslage durchzuführen. Die sich durch unterschiedlichste Witterungsverhältnisse, ungünstige

ergonomische Voraussetzungen und dem Erfordernis der Anpassung an unterschiedliche Gegebenheiten ergebenden Baustellenbedingungen sind von grossem Einfluss auf die Güte des Schweißergebnisses. Aus diesen Gegebenheiten haben sich 5 verschiedene Schweißtechniken und Schweißverfahren entwickelt, die sich vornehmlich in manuelle, teil- oder vollmechanisierte Verfahren oder deren Kombination unterteilen lassen. Massgebend für das gewählte Schweißverfahren sind Kriterien wie Werkstoff, Abmessung, Verwendungszweck und 10 Wirtschaftlichkeit.

Rein manuelle Verfahren sind beispielsweise das fallende Metall-Lichtbogenschweißen mit Stabelektronen, das durch grosse Spaltüberbrückbarkeit und dickere Einzelschweisslagen 15 gekennzeichnete Lichtbogenschweißen in Steignahttechnik und das Lichtbogenschweißen in Fallnahttechnik. Letzteres ermöglicht eine verhältnismässig hohe Schweißgeschwindigkeit, erfordert jedoch zur einwandfreien Durchführung der 20 Schweißarbeiten ein genaues Ausrichten der Rohrenden mit geeigneten Zentriervorrichtungen, einen gleichmässigen Luftspalt, einen geringen Kantenversatz und die Vermeidung zu hoher Abkühlgeschwindigkeiten der Einzellagen. Ein voll 25 ausgebildeter Fallnahtschweißer, geeignete Zentriervorrichtungen, gute Schweißelektroden und geeignete Schweißstromquellen, die linearen Gleichstrom erzeugen, sind zum wirtschaftlichen Einsatz der Fallnahttechnik unumgänglich.

Auch wenn in Niedriglohnländern, in denen der Faktor Lohn kaum 30 eine Rolle spielt, Pipelines nach wie vor von Hand fallend mit oftmals technisch veralteten Schweißmaschinen geschweisst werden und somit die Qualität der Schweißnähte vor allem von der Qualifikation und Tagesform des Schweißers abhängig ist, wurden mittlerweile eine Vielzahl an automatischen oder halbautomatischen Schweißverfahren entwickelt. Ein sehr

verbreitetes und relativ wirtschaftliches Verfahren im Pipelinebau ist die MAG-Orbitalschweisstechnik. Das Akronym MAG steht für das aus dem Stand der Technik bekannte Metallaktivgasschweissen, bei welchem ein Lichtbogen zwischen einer abschmelzenden und im Wesentlichen kontinuierlich zugeführten Drahtelektrode und dem Werkstück innerhalb eines Schutzgasmantels aus beispielsweise CO₂ oder Mischgas aus CO₂, inertem Gas, z.B. Argon, und eventuell auch O₂ abbrennt. Abhängig von der Verlegegeschwindigkeit der Pipeline, dem Rohrdurchmesser, der Wanddicke des Rohrs, der Beschaffenheit des Geländes, den Umgebungstemperaturen, der zur Verfügung stehenden Infrastruktur und der Qualifikation der Fachkräfte haben sich im Stand der Technik im Wesentlichen vier unterschiedliche Varianten etabliert, die im Folgenden dargestellt werden.

Bei der ersten Variante – der zwar kostengünstigsten aber auch langsamsten und daher vor allem für kürzere Pipelinebaustellen geeigneten Variante – werden die Rohre ohne Vorbehandlung mit einem Luftspalt von 1,5 mm bis 3 mm Abstand mittels einer pneumatischen Innenzentrierung zentriert und fixiert. Zunächst wird die Wurzel manuell von oben nach unten mit einer cellulosen bzw. basischen Elektrode oder mit einem MAG-Schweissgerät mit Metallpulverdraht von 1,0 mm geschweisst. Nach Fertigstellung der Wurzel wird ein Spannband um das Rohr nahe der Fuge arretiert, an dem mit zwei MAG-Orbitalschweissköpfen, die jeweils einen MAG-Brenner aufweisen, von unten nach oben mit einem Fülldraht alle Zwischenlagen und die Decklagen geschweisst werden. Für den Schweißprozess wird ein Schutzgas aus CO₂ und Argon eingesetzt. Der erste Schweißer beginnt in der Position 6 Uhr und schweisst pendelnd mit Verweilzeiten links und rechts alle Füll- und Decklagen bis zur Position 12 Uhr. Der zweite Schweißer beginnt zeitversetzt ebenfalls bei der Position 6

Uhr und schweisst bis zur Position 1 Uhr, um eine Überlappung der Schweissnaht zu erhalten. Diese Variante ist für das Verlegen von Fernwärmerrohren im Tunnelbau, Wasserleitungen im Tunnelbau, aber auch für Gasspeicher grösserer Dimension, z.B. 5 Durchmesser 2.500 mm, vor allem aber bei Wanddicken zwischen 15 mm und 30 mm einsetzbar. Die Abschmelzleistung beträgt 3,1 kg pro Stunde. Gegenüber dem Fallnahtschweissen mit Cellulose-Elektroden mit 1,7 kg pro Stunde ist diese Variante doppelt so schnell.

10 Die zweite etablierte Variante, die wesentlich schneller als die erste Variante ist, erfordert höhere Investitionskosten. Um nach dieser Variante schweissen zu können, benötigt man eine Fasing-Maschine mit einem Hydraulikaggregat zum 15 Bearbeiten der Rohrenden. Alle Rohre sind auf der Baustelle mit einem Seitenbaum einzeln anzuheben, so dass sie in die Fasing-Maschine eingeführt werden können, um die Rohrenden entsprechend mit einer speziellen Schweissnahtvorbereitung auszustatten. Die Fugenform entspricht einer Tulpe mit einem 20 Steg von ca. 2 mm mit einem geringen Öffnungswinkel, wobei wenig Zusatzwerkstoff wegen des geringen Nahtvolumens benötigt wird. Um das Wurzelschweissen von aussen qualitativ zu beherrschen, ist es erforderlich, eine pneumatische 25 Innenzentriervorrichtung mit Kupferbacken einzusetzen. Aufgabe der Kupferbacken ist es, das flüssige Schweissgut zu stützen, um eine hundertprozentige Wurzel zu erzielen, bei der beide Rohrinnenkanten miteinander verschweisst sind und ein 30 Wurzeldurchhang von maximal 1 mm gewährleistet ist. Nachdem die Rohrenden bearbeitet sind, wird das Rohr mittels der pneumatischen Innenzentrierung mit Kupferbacken zentriert. Zuvor wird an einem der Rohrenden ein Spannband montiert, an welchem zwei MAG-Orbitalschweissköpfe geführt sind, welche die Wurzel von 12 Uhr nach 6 Uhr schweissen. Die Rohrenden werden ohne Luftspalt zentriert, so dass beginnend bei 12 Uhr der

erste MAG-Orbitalorschweisskopf den Steg mit einer hohen Stromleistung aufschmilzt und das flüssige Schweißgut von den Kupferbacken gestützt wird. Der zweite MAG-Orbitalorschweisskopf startet ebenfalls bei 12 Uhr, wenn der erste MAG-5 Orbitalorschweisskopf die Position 2 Uhr erreicht hat. Um Fehler in der Wurzel zu vermeiden, findet eine derart konstante Stromversorgung für die Inverter oder Gleichrichter statt, dass sich die Schweißparameter während des Zuschaltens des zweiten MAG-Orbitalorschweisskopfes nicht verändern. Dies ist 10 insbesondere mittels eines hydraulischen, auf dem längs zur Pipeline bewegten Transportfahrzeug befindlichen Generatorantriebs, der im Millisekundenbereich reagiert, um die Stabilität des Lichtbogens zu erhalten, gewährleistet. Gegebenenfalls ist es möglich, für die unterschiedlichen 15 Schweißpositionen - waagrecht, fallend und über Kopf - die Schweißstromquellen so zu programmieren, dass entsprechend der Position eines MAG-Orbitalorschweisskopfes jeweils eine Stromanpassung sowie die Anpassung der Drahtvorschubgeschwindigkeit erfolgt. Die Anpassung erfolgt 20 vollautomatisch, halbautomatisch oder auch manuell. Die beiden MAG-Orbitalorschweissköpfe schweißen die Naht nach gleichen Kriterien von oben nach unten. Nach Fertigstellung der zweiten Lage werden die MAG-Orbitalorschweissköpfe vom Spannband entfernt und zum nächsten Schweißstoss transportiert. Ein 25 nachfolgendes MAG-Orbitalorschweisskopfpaar schweisst nicht-pendelnd mehrere Fülllagen ebenfalls von oben nach unten. Je nach Wanddicke des Rohres können bis zu 5 solcher Schweißstationen versetzt entlang der Pipeline eingesetzt werden, wobei insgesamt 10 MAG-Orbitalorschweissköpfe teilweise 30 gleichzeitig im Einsatz sind und benötigt werden. Es wird mit Massivdraht geschweißt und je nach Schweißlage mit einer unterschiedlichen Gaszusammensetzung gearbeitet. Es ist empfehlenswert, eine automatische Gasmischchanlage auf den mobilen Transportfahrzeugen zu installieren oder Gas aus

Flaschen zu verwenden, in denen das Gemisch fertig angeliefert wird. Die Abschmelzleistung dieser Variante beträgt üblicherweise bis zu 5,1 kg pro Stunde mit Massivdraht, was eine wesentliche Steigerung der Schweißgeschwindigkeit und 5 der Tagesleistung darstellt. Die Schweißnahtqualität ist gut bis sehr gut. Eine maximale Reparaturquote von 3 bis 5% ist gegeben.

Für die dritte Variante wird ein Innen-MAG-Orbitalschweißkopf 10 benötigt, um die Wurzel von innen zu schweißen. Vier MAG-Schweißbrenner schweißen - beginnend von Position 12 Uhr bis 6 Uhr - die Wurzel überlappend von der einen Hälfte des Rohres und vier MAG-Schweißbrenner von oben nach unten die andere Hälfte des Rohres. Das Schweißen der Wurzel an einem 1.200 mm 15 Rohr dauert ca. 3 Minuten. Um diese hohe Schweißgeschwindigkeit zu erzielen, sind die Investitionskosten entsprechend sehr hoch. Das Schweißen der Füll- und Decklagen erfolgt wie bei der zweiten Variante mit Massivdraht von oben nach unten. Die Regelung findet in 20 Abhängigkeit vom Qualifikationsgrad des Bedienungspersonals manuell, halbautomatisch oder im Falle programmierbarer Stromquellen automatisch statt. Die Abschmelzleistung bei diesem Verfahren liegt üblicherweise bei 5,9 kg pro Stunde, so dass dieses Verfahren im Vergleich zu den Vorangegangenen das 25 schnellste, aber auch das kostenintensivste Orbitalschweißverfahren ist.

Eine vierte Variante sieht die Ausrüstung jeweils eines MAG-Orbitalschweißkopfes mit zwei um den Rohrumfang leicht 30 versetzten MAG-Brennern und zwei oder vier Drähten vor. Die Schweißgeschwindigkeit erhöht sich etwa um 100%, wenn mit zwei MAG-Brennern geschweißt wird, oder etwa um 400%, wenn mit zwei MAG-Brennern und vier Drähten geschweißt wird. Diese Technologie ist vor allem für Rohre geeignet, deren

Durchmesser grösser als 1.000 mm ist und deren Wanddicke mindestens 20 mm beträgt. Die Schweißnahtvorbereitung ist entsprechend anzugleichen. Insgesamt sind acht Schweißstromquellen, die beispielsweise auf dem

5 Transportfahrzeug angeordnet sind, erforderlich, um zwei an einem Spannband wie oben beschrieben geführte MAG-Orbital-schweißköpfe mit jeweils vier Drähten bedienen zu können. Die Stromquellen kommunizieren miteinander und pulsen synchron. Dies ist z.B. mit einem speziellen Multi-Inverter 10 möglich. Um derartige MAG-Orbital-schweißköpfe mit insgesamt vier Brennern einsetzen zu können, ist eine umfangreiche Schulung des Bedienpersonals erforderlich. Die jeweiligen Baustellenkriterien müssen berücksichtigt werden, um die gewünschte Tagesleistung mit diesem Verfahren zu erzielen. Die 15 Investitionskosten sind erheblich, jedoch wird eine sehr hohe Abschmelzleistung und Schweißgeschwindigkeit erzielt.

Um bei allen vier Varianten des MAG-Orbital-schweissens optimale Schweißergebnisse zu erzielen, findet der 20 Schweißprozess jeweils unter einem geeigneten Schweißerzelt statt. Das Schweißerzelt ist so konzipiert, dass während des Schweißprozesses keine Zugluft in das Zelt gelangen kann. Des Weiteren sind die Türen des Schweißerzelts derart gesichert, dass während der Schweißarbeiten kein Fremdzugang von aussen 25 möglich ist. Im Falle extremer thermischer Bedingungen sind die Schweißerzelte zugluftfrei klimatisiert. Die Schweißnahtqualität hängt zum grossen Teil von der Ausführung des Schweißerzeltes ab. Alle oben beschriebenen vier Varianten des MAG-Orbital-schweissens sind technisch 30 ausgereift, setzen aber voraus, dass alle Rahmenbedingungen eingehalten werden, um erstklassige Schweißnähte zu produzieren.

Das MAG-Orbital-schweissen ist durch hohe Reparaturquoten, Ausfallzeiten durch Witterungseinflüssen sowie Beeinträchtigungen der Schweissnahtqualität durch das Bedienungspersonal an seinen Grenzen angekommen. Das

5 Bedienungspersonal der MAG-Orbital-schweissköpfe muss nicht nur auf dem Sektor Schweiss-technik, sondern auch auf dem elektronischen Sektor hochqualifiziert sein.

Schweissparameter, die den Schweissprozess in den unterschiedlichen Schweisspositionen vollautomatisch

10 beeinflussen, haben den Nachteil, dass Veränderungen von aussen - insbesondere Spritzer, die unkontrolliert beim Schweissen entstehen können, oder auch Einflüsse aus der Atmosphäre - voraussetzen, dass der Schweißer sofort in den automatisierten Prozess eingreift und den Schweissprozess

15 manipuliert, um die Fehler zu minimieren. Das Schweissen der Wurzel mit Innen-MAG-Orbital-schweissköpfen ist zwar sehr schnell, aber auch sehr kostenintensiv. Ausserdem ist die Wurzellage oft mit sehr vielen Schweissfehlern behaftet. Am Beginn einer Wurzel ist es möglich, dass sich beim Ansetzen

20 Poren bilden, die sich beim Überschweissen mit einem nachfolgenden Brenner bis in die obere Nahtschicht ausbilden. Diese Poren müssen nach dem Schweissen mechanisch beseitigt werden. Es ist also erforderlich, dass ein Schweißer von innen und mit einem Handschweissgerät die Wurzel

25 nachschweisst. Erst dann können weitere Schweissprozesse von aussen erfolgen. Die hohen Investitionskosten und das viele erforderliche gut ausgebildete Personal haben diesem Verfahren daher nicht zum Durchbruch verholfen. Durch den Einsatz von zwei oder vier Drähten an einem Schweisskopf werden diese

30 Probleme sogar noch umfangreicher.

Da zur Fertigstellung einer Schweissnaht neben der Wurzel und der Decklage eine Vielzahl an Fülllagen geschweisst werden müssen, die zum Teil den Einsatz unterschiedlicher MAG-

Orbitalschweissköpfe erfordern, werden zur Erreichung einer hohen Verlegegeschwindigkeit der Pipeline in der Regel mehrere, teilweise über fünf Schweissstationen eingesetzt, mittels welcher jeweils eine Schweissnaht oder mehrere 5 Schweissnähte erzeugt werden. Da somit gleichzeitig an mehreren Rohrverbindungen gearbeitet wird, müssen mehrere komplett ausgestattete Schweissstationen bereitgestellt werden, die jeweils nicht nur mehrere MAG-Orbitalschweissköpfe, sondern auch jeweils eine Abschirmung 10 insbesondere in Form eines Schweisserzelts, ein die jeweilige Schweissstromquelle, die Schutzgasflaschen, den Generator, gegebenenfalls den Schweissdraht und weitere Versorgungseinrichtungen transportierendes Transportfahrzeug und mehrere Rohrkräne erfordern. Dies führt nicht nur zu 15 erheblichen Investitionskosten, sondern hat auch einen grossen Wartungsaufwand und hohe Personalkosten zur Folge, da jede Schweissstation von entsprechend qualifiziertem Personal zu bedienen ist.

20 Aufgrund dieser Probleme im Stand der Technik des mobilen MAG-Orbitalschweissens von Pipelines wird weltweit seit längerem nach alternativen Fügeverfahren für den Pipelinebau geforscht.

Ein im stationären Einsatz bewährtes Schweissverfahren ist das 25 Laserstrahlschweissen. Beim Laserstrahlschweissen kommen als Laserstrahlquelle momentan Hochleistungs-CO₂-Gaslaser, -Nd:YAG-Festkörperlaser, -Scheibenlaser und -Diodenlaser zum Einsatz. Als Hochleistungslaser sei eine Laserstrahlquelle mit einer Strahlleistung von mindestens 1 kW zu verstehen.

30 CO₂-Laser emittieren Laserlicht mit einer Wellenlänge von 10,6 µm und besitzen in der Materialbearbeitung Strahlleistungen von wenigen hundert Watt bis über 40 kW bei einem Wirkungsgrad von circa 10%. Die Strahlführung hat bei

derartigen CO₂-Lasern über relativ aufwendige Spiegeloptiken zu erfolgen, da eine Strahlführung über einen flexiblen Lichtwellenleiter aufgrund der Wellenlänge des emittierten Laserlichts nicht möglich ist.

5

Das von einem Nd:YAG-Laser emittierte Laserlicht hat eine Wellenlänge von 1,064 μm, wobei industriell verfügbare, lampen gepumpte Systeme für die Materialbearbeitung eine Strahlleistung von etwa 10 W bis über 6 kW im

10 Dauerstrichbetrieb besitzen. Durch die Verwendung von Dioden- Arrays zur Anregung anstelle von Bogenlampen ist bei allerdings erheblich höheren Investitionskosten eine Erhöhung des Wirkungsgrades von 3% für ein lampen gepumptes System auf bis zu ca. 10% möglich. Ein von einem Nd:YAG-Laser erzeugter 15 Strahl kann im Gegensatz zum CO₂-Laserstrahl über Lichtwellenleiter, insbesondere ein Glasfaserkabel, geführt werden, was eine erheblich flexiblere Aufstellung der Strahlquelle und Handhabung des Nd:YAG-Laserstrahls ermöglicht.

20

Eine neuere Entwicklung im Bereich der Festkörperlaser ist der Scheibenlaser. Das Licht dieses Lasers kann wie das des Nd:YAG-Lasers über Fasern geführt werden. Vorteilhaft ist bei diesem Laser insbesondere der hohe Wirkungsgrad im Bereich um 25 20%. Seine Strahlleistung ist jedoch derzeit auf bis zu 4 kW beschränkt.

Die Wellenlänge von Diodenlasern liegt je nach Dotierung des 30 verwendeten Halbleitermaterials zwischen 0,78 und 0,94 μm, wobei bei einem Wirkungsgrad von 35 bis 50% derzeit Strahlleistungen bis 4 kW fasergekoppelt oder 6 kW direktstrahlend industriell verfügbar sind.

Diese vier beim Laserstrahlschweissen eingesetzten Laserstrahlquellen konnten jedoch bisher nicht beim mobilen Orbitalschweissen von Rohren, insbesondere Pipelines, erfolgreich zur Anwendung kommen.

5

Da der von einem CO₂-Laser emittierte Strahl nur mittels Spiegel umgelenkt werden kann und die Strahlführung somit ausserordentlich schwierig ist, kommen CO₂-Laser bisher in der Praxis nur im stationären Bereich oder im Off-Shore-Bereich 10 auf Schiffen zum Einsatz, wobei entweder die zu fügenden Rohre bei stillstehender Laserstrahlquelle relativ zum unbewegten Laserstrahl gedreht werden oder die gesamte Laserstrahlquelle mittels einer stabilen Vorrichtung um das aufrecht stehende unbewegte Rohr geschwenkt wird. Derartige Vorrichtungen zeigt 15 beispielsweise die US 4,591,294, in welcher eine Orbitalschweissvorrichtung mit zwei CO₂-Lasern beschrieben wird, die auf einer drehbaren Plattform angeordnet sind und derart jeweils um 180° um einen senkrecht stehenden, von einem Schiff in das Meer herabzulassenden Pipelineabschnitt 20 geschwenkt werden können, dass eine Umfangsschweissnaht herstellbar ist. Bei der horizontalen Landverlegung von langen Rohrleitungen, insbesondere Pipelines, ist das Drehen der Rohrleitung bei unbewegtem Laserstrahl ausgeschlossen. Ein Schwenken des gesamten CO₂-Lasers um ein horizontal liegendes 25 Rohr ist aufgrund des hohen Gewichts und der Baugrösse eines Hochleistungs-CO₂-Lasers mittels mobiler Vorrichtungen mit der erforderlichen Präzision unter Feldbedingungen nicht möglich. Ein Führen des Laserstrahls rings um ein feststehendes Rohr, bevorzugt um über 180°, so dass der Strahl stets im 30 Wesentlichen senkrecht auf die Rohraussenfläche auftrifft, ist höchst kompliziert, da mehrgelenkige Spiegelsysteme zum Einsatz kommen müssen. Ein Spiegelsystem, mittels welchem ein parallel zur Rohrachse ausserhalb des Rohrs geführter Laserstrahl über fünf Spiegel, die in einem mehrschenkligen

und mehrfach verstellbarem Stahlführungsrohrsystem angeordnet sind, rings um eine Umfangsfuge zweier Rohrenden geführt werden kann, ist aus der russischen Offenlegungsschrift RU 2 229 367 C2 bekannt. Die US 4,533,814 zeigt ein ähnliches 5 System, bei welchem ein senkrecht auf die Rohrachse weisender Laserstrahl über ein Stahlführungsrohrsystem, das drei Gelenke und mehrere Spiegel umfasst, um ein Rohr relativ kleinen Durchmessers geführt werden kann. Ein weiteres Spiegelsystem wird in der US 4,429,211 beschrieben, bei welchem ein 10 Laserstrahl über verstellbare Spiegel zum Teil ungeschirmt zu einem eine Umfangsfuge orbital umlaufenden Arbeitskopf gelenkt wird, der diesen Strahl wiederum senkrecht auf die Umfangsfuge richtet. Den bekannten Spiegelsystemen ist gemein, dass sie aufgrund des grossen Platzbedarfs, des hohen Gewichts, der 15 hohen Investitionskosten und der hohen Empfindlichkeit in Bezug auf Verschmutzung, Dejustierung oder Beschädigung der Spiegel für den mobilen Einsatz unter Feldbedingungen ungeeignet sind. Ein Innenumfangsschweissen mittels eines zur Rohrachse koaxialen CO₂-Laserstrahls ist zwar möglich, jedoch 20 lassen sich durch das Innenumfangsschweissen von Rohrleitungen ohne zusätzliches Aussenumfangsschweissen bisher nur unbefriedigende Resultate erzielen. Ein weiteres Problem des CO₂-Lasers ist dessen schlechter Wirkungsgrad und der hiermit verbundene hohe Energie- und Kühlungsbedarf. Da im Feldeinsatz 25 Strom in der Regel von mobilen Generatoren erzeugt werden muss, ist die ausreichende Stromversorgung eines Hochleistungs-CO₂-Lasers problematisch. Weiters müssen wegen der hohen Wärmeentwicklung grosse Kühlsysteme eingesetzt werden, die einen mobilen Einsatz eines CO₂-Lasers zusätzlich 30 erschweren. Aufgrund der relativ hohen Erschütterungsempfindlichkeit eines CO₂-Lasers ist ein mobiler kaum möglich.

Ein Nd:YAG-Laser wäre aufgrund der Tauglichkeit des emittierten Laserstahls zur Strahlführung über einen flexiblen Lichtwellenleiter für die Führung des Strahls um ein Rohr grossen Durchmessers geeignet, jedoch erweist sich diese

5 Laserquelle, wie auch der CO₂-Laser, als ungeeignet für den mobilen Feldeinsatz. Aufgrund des verglichen mit anderen Industrielasern schlechten Wirkungsgrads einer Nd:YAG-Lasers stellen die Stromversorgung und der Platzbedarf des Lasers und dessen Zusatzkomponenten, insbesondere der Kühler, ein bisher 10 nicht gelöstes Problem für den Einsatz beim mobilen Orbitalschweissen von Pipelines dar. Die Erschütterungsempfindlichkeit eines Nd:YAG-Laser ist ebenfalls relativ hoch. Ausserdem können bisher mit dem Nd:YAG-Laser aufgrund der im Vergleich zum CO₂-Laser geringeren 15 Laserstrahlleistung auch im stationären Einsatz keine vollends zufrieden stellenden Schweissergebnisse erzielt werden, da die maximal erreichbare Schweissgeschwindigkeit beim Schweissen von grossen Rohren, insbesondere für eine Pipeline, zu gering ist oder nicht einlagig geschweisst werden kann.

20

Die Strahlleistung des Scheibenlasers ist derzeit auf maximal 4 kW beschränkt, was angesichts der Stahleigenschaften eines Scheibenlasers für das Orbitalschweissen von dickwandigen Rohren als nicht ausreichend anzusehen ist. Trotz seines hohen 25 Wirkungsgrads im Bereich um 20% und des damit verbundenen relativ geringen Leistungsbedarfs ist der Scheibenlaser aufgrund seines schwierig zu justierenden Aufbaus und seiner extrem hohen Erschütterungsempfindlichkeit momentan keinesfalls als mobile Strahlquelle, die unter Feldbedingungen 30 zwangsläufig Erschütterungen ausgesetzt ist, geeignet.

Im Gegensatz zu Hochleistungs-CO₂-Lasern, -Nd:YAG-Lasern und -Scheibenlasern, die hinsichtlich Energie- und Raumbedarf sowie konstruktiver Auslegung und Gewicht nur mit sehr grossen

Einschränkungen überhaupt als mobile Systeme betrieben werden können, stellt der Diodenlaser eine relativ mobile, kompakte und leichte Laserstrahlquellen mit gutem Wirkungsgrad dar.

Jedoch ermöglicht der Diodenlaser aufgrund seiner

5 prinzipbedingten geringeren Strahlintensität und Strahlleistung in der Regel unter Normalbedingungen kein Tiefschweissen, so dass das Schweißen dickwandigerer Rohre nur in Mehrlagentechnik möglich wäre.

10 Die US 5,796,068 und US 5,796,069 beschreiben eine Laseraussenumfangsschweissvorrichtung für den Pipelinebau. Die Vorrichtung umfasst wenigstens eine aussen an einem Rohr der Pipeline befestigte ringförmige Führungsschiene, einen auf nämlicher geführten und rings um das Rohr bewegbaren Schweißwagen, eine auf dem Schweißwagen montierte 15 Laserstrahlquelle zum Erzeugen eines Laserstrahls, der gegebenenfalls über Umlenkmittel auf die von den zu verbindenden, stumpf gegeneinander stossenden Rohrenden gebildete Fuge richtbar ist, und eine ebenfalls auf dem Schweißwagen montierte Vorschubeinheit zum orbitalen Bewegen 20 des Schweißwagens um das Rohr, so dass der Laserstrahl entlang der Fuge der gegeneinander stossenden Rohrenden zum Fügen der selbigen mittels einer Aussenumfangsschweissnaht geführt wird. Da die Laserstrahlquelle direkt auf dem Schweißfahrzeug angeordnet ist und um das gesamte Rohr bewegt 25 werden muss, ergeben sich erhebliche Einschränkungen bei der Auswahl einer hierfür geeigneten Strahlquelle. Ein bezüglich Baugrösse und Gewicht geeigneter Festkörper- oder Gaslaser weist eine viel zu geringe Strahlleistung auf, um eine 30 Schweißgeschwindigkeit, die mindestens derjenigen beim Lichtbogenschweissen entspricht, zu erreichen. Ein Diodenlaser wäre zwar unter Umständen bezüglich seiner Baugrösse zur direkten Montage auf den Transportwagen geeignet, jedoch ermöglicht er aufgrund seiner prinzipbedingt geringen

Strahlintensität kein Tiefschweissen dickwandiger Rohre ohne Anwendung von Mehrlagentechnik.

Ausserdem wird in der US 5,796,068 und in der US 5,796,069
5 eine kombinierte Laserinnenumfangsschweiss- und Innenzentrier-
vorrichtung beschrieben. Die Vorrichtung ist als ein Fahrzeug
ausgebildet, das mittels eines Antriebs innerhalb des Rohrs
entlang der Rohrachse bewegbar ist und sich somit im Bereich
der von den zu verbindenden, stumpf gegeneinander stossenden
10 Rohrenden gebildete Fuge positionieren lässt. Mit Hilfe einer
integrierten Innenzentriereinheit, die zwei jeweils auf die
Innenfläche eines Rohrs radial wirkende pneumatische
Spannvorrichtungen aufweist, sind die beiden Rohre in
bekannter Weise exakt zueinander ausrichtbar. In einem darauf
15 folgenden Schritt wird mindestens ein von einer auf dem
Rohrfahrzeug montierten Laserstrahlquelle emittierter
Laserstrahl über Lichtleitmittel entlang der Fuge zum Fügen
der beiden Rohrenden mittels einer Innenumfangsschweissnaht
geföhrt. Weiters wird ein Verfahren beschrieben, bei welchem
20 zuerst eine Schweißlage von innen mit Lichtbogen und im
Anschluss eine Schweißlage von aussen mit Laser geschweisst
wird.

In der WO 92/03249 wird eine Vorrichtung zum Laserschweissen
25 eines Rohrs entlang seinem Innenumfang mit einer in das Rohr
einführbaren Sonde offenbart. Innerhalb der Sonde sind Mittel
angeordnet, mit denen ein Teil eines sich in ihrem Inneren
ausbreitenden Schutzgasstroms vor Erreichen einer
Austrittsöffnung für ein fokussiertes und umgelenktes,
30 insbesondere von einem beabstandeten Nd:YAG-Laser mittels
eines Lichtwellenleiters zugeführten Laserstrahlenbündel
abgezweigt und mit einer zur Austrittsöffnung hin gerichteten
Strömungskomponente zur Aussenoberfläche des Sonde geföhrt

wird. Dadurch wird ein Niederschlag von Schweißgut im Bereich der Austrittsöffnung und im Inneren der Sonde verringert.

In der US 5,601,735 wird eine Laserschweißvorrichtung zur Herstellung eines länglichen, rohrförmigen und gasdichten, insbesondere mit dem Isolationsgas SF₆ zu befüllenden Erdungszylindergehäuses aus einer Vielzahl von kurzen, über eine Ausseumfangsschweißnaht miteinander verbundenen Zylindersegmenten für eine elektrische Komponente, beispielsweise einen Leistungs- oder Lasttrennschalter, vorgestellt. Die Laserschweißvorrichtung umfasst einen Ringrahmen, der mittels zweier, die beiden zu verbindenden Zylindersegmente jeweils nahe den Zylinderenden fest umschliessenden Spannbänder rings um die Umfangsfuge angeordnet wird. Da der Abstand der beiden über den Ringrahmen miteinander verbundenen Spannbänder über eine Vielzahl an Längsstellschrauben einstellbar ist und beide Spannbänder relativ zu den Zylindersegmenten über mehrere, entlang dem Umfang verteilte Radialspannschrauben axial ausrichtbar sind, ist es möglich, die beiden Zylindersegmente zueinander auszurichten. Innerhalb des Ringrahmens befindet sich eine Ringschiene, entlang welcher ein Laserschweißwerkzeug geführt wird, das über einen am Ringrahmen montierten, in einen am Laserschweißwerkzeug angeordneten Zahnkranz eingreifenden Elektromotor rings um die Umfangsfuge bewegbar ist. Das Laserschweißwerkzeug umfasst eine Fokussieroptik zum Fokussieren eines Laserstrahls auf die Umfangsfuge, Detektoren zum Erfassen der Lage der Umfangsfuge und zwei Antriebe zum Feinausrichten der Fokussieroptik auf die Umfangsfuge in radialer und axialer Richtung. Der Laserstrahl wird mittels einer in der Nähe des Ringrahmens platzierten Laserstrahlquelle erzeugt und über ein Glasfaserkabel zur Fokussieroptik geleitet. Das Glasfaserkabel ist innerhalb des Ringrahmens über eine Spiralschiene derart um die beiden Rohre

gewunden, dass beim Bewegen des Laserschweisswerkzeugs um den gesamten Rohrumfang eine Überdehnung oder sonstige Beschädigung des Glasfaserkabels verhindert werden soll. Als mögliche Laserstrahlquelle wird trotz der verwendeten

5 Glasfaser ein CO₂-Laser angegeben. Die in der US 5,601,735 beschriebene Schweissvorrichtung ist für das im stationären Einsatz stattfindende Fügen von relativ kurzen zylindrischen Segmenten kleinen Durchmessers, geringer Wanddicke und relativ leichten Gewichts, wie dies bei gattungsgemässen

10 Erdungsgehäusen für Leistungs- oder Lasttrennschalter der Fall ist, ausgelegt. Da die Fertigung derartiger Produkte stets stationär erfolgt, stellt sich die Frage eines mobilen Betriebs der offenbarten Vorrichtung gattungsgemäss nicht, weshalb entsprechende Massnahmen nicht beschrieben werden. Der

15 Einsatz eines derartigen Schweissverfahrens für das Schweissen von langen Rohren grossen Durchmessers bis über 1500 mm und Wanddicken bis etwa 25 mm, beispielsweise Pipelines, mit hoher Schweissgeschwindigkeit ist mittels der beschriebenen Schweissvorrichtung, die lediglich für geringe Laserleistungen

20 ausgelegt ist, nicht möglich. Die Führung des Laserstrahls einer CO₂-Laserquelle mittels eines Glasfaserkabels, wie in der US 5,601,735 beschrieben, ist bei Einsatz einer Hochleistungs-CO₂-Laserquelle mit über 1 kW Strahlleistung nicht möglich.

25

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Orbital schweissen von Rohrleitungen mittels einer Umfangsschweissnaht, die nur eine oder möglichst wenige

30 Lagen aufweist, insbesondere zum Orbital schweissen von auf Land horizontal verlegten Pipelines im mobilen Einsatz unter Feldbedingungen, zur Verfügung zu stellen, mit der höhere Schweissgeschwindigkeiten als beim MAG-Orbital schweissen, eine

erhöhte Prozesssicherheit und eine hohe Schweißnahtqualität erzielt werden können.

Diese Aufgabe wird durch die Verwirklichung der kennzeichnenden Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst.

5 Merkmale, die die Erfindung in alternativer oder vorteilhafter Weise weiterbilden, sind den abhängigen Patentansprüchen zu entnehmen.

10 Die erfindungsgemäße Orbital schweißvorrichtung ist für den mobilen Einsatz zum Verbinden eines ersten Rohrendes und eines zweiten Rohrendes entlang einer Umfangsfuge mittels mindestens einer Schweißnaht, insbesondere zur Herstellung einer auf Land horizontal zu verlegenden Pipeline, jedoch auch für den 15 stationären Einsatz oder den Offshore-Einsatz auf See bei nichthorizontaler Rohrausrichtung geeignet. Mittels der erfindungsgemäßen Orbital schweißvorrichtung ist es möglich, Rohre, die aus einem schmelzschweißbaren Werkstoff, insbesondere einem metallischen Werkstoff, bevorzugt einem 20 Stahlwerkstoff, z.B. X70, X80, X90, X100 oder hochlegiertem, nicht rostendem Stahl bestehen und einen Durchmesser von 50 mm bis über 4.000 mm und eine Wanddicke von 2,5 mm bis über 25 mm aufweisen, innerhalb kurzer Zeit mit nur einem Orbitalumlauf zu verbinden. Auch wenn die Anwendung der Vorrichtung für 25 kleinere Rohre möglich ist, besitzen die zu verbindenden Rohrsegmente in den bevorzugten Anwendungen einen Durchmesser von über 500 mm, insbesondere über 800 mm, vor allem über 1.000 mm, eine Wanddicke von über 5 mm, vor allem über 10 mm, und eine Länge, die wesentlich grösser ist als der Durchmesser 30 des Rohrs. Aufgrund der Eignung zum mobilen und autarken Einsatz kann die erfindungsgemäße Vorrichtung auch zur Herstellung von horizontal auf Land zu verlegenden Pipelines in einer Umgebung, in der nur eine schlechte oder keine

Infrastruktur in Form einer festen Strom-, Wasser- oder Gasversorgung zur Verfügung steht, verwendet werden.

Die Orbitalschweissvorrichtung umfasst einen Führungsring, der zu dem Rohrende eines ersten Rohrs, im Folgenden als das erste Rohrende bezeichnet, und der Umfangsfuge ausrichtbar ist. Die Umfangsfuge sei als der Spalt oder Nullspalt zwischen den Stirnseiten des ersten Rohrendes und des Rohrendes eines zweiten Rohrs gleichen Querschnitts, im Folgenden das zweite Rohrende genannt, oder als der Rohrstoss definiert, wobei das erste Rohr und das zweite Rohr derart zueinander ausgerichtet sind, dass die Umfangsfuge einen im Wesentlichen konstanten Spaltabstand von höchstens 1 mm, bevorzugt unter 0,3 mm, besonders bevorzugt technischer Nullspalt, aufweist und beide

10 Rohre ohne wesentlichen Versatz zueinander zentriert sind. Die beiden Rohre haben bevorzugt einen kreisförmigen, alternativ jedoch einen ellipsoiden oder sonstigen Querschnitt und sind insbesondere gerade, gebogen oder abgewinkelt ausgeführt.

15 Vorrichtungen zum von der Innen- und/oder Aussenseite erfolgenden Zentrieren von Rohren und zum Einstellen eines definierten Spaltabstands der Umfangsfuge sind aus dem Stand der Technik in unterschiedlichen Ausführungsformen bekannt. Die Rohrenden sind insbesondere unter Zuhilfenahme einer bekannten Fasing-Vorrichtung derart bearbeitet, dass die 20 Umfangsfuge die Form einer I-Naht, einer Y-Naht, V-Naht oder einer Tulpennaht hat. Alternativ sind die Kanten lasergeschnitten. Der Führungsring ist bevorzugt parallel zur Umfangsfuge mit konstantem Abstand zur Aussenfläche oder Innenfläche des ersten Rohrendes ausgerichtet. Das Ausrichten 25 erfolgt beispielsweise über eine Vielzahl entlang des Führungsringumfangs angeordneter Spannschrauben, mittels derer der Abstand des Führungsringes vom der Rohroberfläche exakt einstellbar ist.

Der Führungsring dient zum Führen eines auf selbigem angeordneten Orbitalwagens, der orbital entweder entlang dem gesamten Aussen- oder Innenumfang des ersten Rohrendes oder zumindest entlang einem Teilabschnitt des Umfangs verschiebbar 5 geführt ist. Der Orbitalwagen kann motorisch über eine Vorschubeinrichtung entlang dem Führungsring bewegt werden.

Auf dem Orbitalwagen ist ein Laserschweisskopf zur Führung und Formung eines Laserstrahls angeordnet. Der Laserschweisskopf 10 ist derart auf die Umfangsfuge ausrichtbar, das mittels eines von dem Laserschweisskopf auf die Umfangsfuge oder auf einen in unmittelbarer Nähe zur Umfangsfuge befindlichen Punkt fokussierten Laserstrahls, gegebenenfalls unter Zufuhr von inerten oder aktiven Prozessgasen oder Gemischen aus diesen, 15 der Werkstoff der beiden Rohrenden innerhalb der im Folgenden als Laserschweisszone bezeichneten thermischen Einflusszone des Laserstahls aufschmelzbar ist und durch Verschieben des Orbitalwagens entlang dem Führungsring, gegebenenfalls unter Zufuhr eines Zusatzwerkstoffes in Form eines Drahts, eine 20 Schweißnaht entlang der Umfangsfuge herstellbar ist. Gegebenenfalls sind Mittel zur Badstützung oder Formierung vorgesehen, insbesondere Kupferbacken auf der Gegenseite oder eine Zufuhrvorrichtung zur wurzelseitigen Zufuhr von Formiergas.

25 Die Erzeugung des Laserstrahls erfolgt erfindungsgemäß über wenigstens eine mobile Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle, die von dem Laserschweisskopf beabstandet – insbesondere auf einem längs zur Rohrachse ausserhalb des Rohrs beweglichen 30 Transportfahrzeug schwingungsgedämpft – angeordnet ist. Der von dem Faserlaser erzeugte Laserstrahl wird über einen Lichtwellenleiter, bevorzugt ein flexibles Glasfaserkabel, von der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle zum Laserschweisskopf geführt. Es ist möglich, einen

Lichtwellenleiter mit einer Länge von 30 m bis über 200 m einzusetzen, so dass das Transportfahrzeug mit der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle weit beabstandet vom Laserschweisskopf positioniert werden kann.

5

Als Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle im Rahmen der Erfindung sei eine Festkörper-Laserstrahlquelle mit einer vom Einsatzgebiet abhängigen Strahlleistung von über 1 kW, insbesondere über 3 kW, bevorzugt über 5 kW, besonders 10 bevorzugt über 7 kW zu verstehen, deren laseraktives Medium von einer Faser gebildet wird. Die insbesondere aus Yttrium-Aluminium-Granat bestehende Faser ist in der Regel mit Ytterbium oder anderen seltenen Erden dotiert. Die Enden und/oder die Mantelfläche der Glasfaser werden beispielsweise 15 mittels Dioden optisch gepumpt. Die Wellenlänge einer typischen Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle liegt etwa bei 1,07 µm, wobei bei einem Wirkungsgrad von mehr als 20% Strahlleistungen von theoretisch bis über 100 kW verfügbar sind. Somit ist der Wirkungsgrad einer Hochleistungs- 20 Faserlaserstrahlquelle wesentlich höher als der eines Nd:YAG-Lasers oder eines CO₂-Lasers. Die maximal erreichbare Strahlleistung liegt derzeit wesentlich höher als die des Nd:YAG-Lasers oder des Diodenlasers. Die Strahlintensität übertrifft die des Diodenlasers, so dass ein Tiefschweissen 25 möglich ist. Im Vergleich zum CO₂-Laser, Nd:YAG-Laser und Scheibenlaser ist eine Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle relativ erschütterungsunempfindlich. Ein von einer Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle erzeugter Laserstrahl kann im Gegensatz zum CO₂-Laser über ein flexibles 30 Glasfaserkabel über Distanzen bis über 200 Meter geleitet werden. Die Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle ermöglicht sowohl das Erzeugen kontinuierlicher Laserstrahlung im sogenannten cw-Betrieb, als auch die Erzeugung gepulster Laserstrahlung mit Pulsfrequenzen bis über 20 kHz und

beliebigen Pulssformen. Insbesondere aufgrund des im Vergleich zum Nd:YAG-Laser ausgezeichneten Wirkungsgrads, der eine relativ geringe Generatorenleistung und ein relativ kleines Kühlssystem erfordert, der hohen verfügbaren Strahlleistung und der hervorragenden Strahlqualität, die im Vergleich zum Diodenlaser ein Tiefschweißen ermöglicht, der Tauglichkeit zur Lichtwellenleiterstrahlführung, der geringen Erschütterungsempfindlichkeit und der im Vergleich zum Nd:YAG-Laser und CO₂-Laser geringen Baugröße einer Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle ist ein mobiler und autarker Einsatz auf einem Transportfahrzeug möglich.

Mittels der erfindungsgemäßen Orbitalorschweissvorrichtung ist es realisierbar, wie Versuche gezeigt haben, bei einer momentan kommerziell verfügbaren Strahlleistung von 10 kW, einem Strahlparameterprodukt von 12 mm*mrad und einem Strahldurchmesser im Fokusbereich von ca. 0,3 mm Rohre, die eine Wanddicke von 12 mm oder 16 mm haben, aus X70 Stahl gefertigt sind und eine V-Naht-förmige und durch Laserstrahlschneiden vorbereitete Umfangsfuge mit einem sehr kleinen Öffnungswinkel von nur etwa 1° aufweisen, mit einer Schweißgeschwindigkeit von 2,2 bzw. 1,2 Metern pro Minute zu fügen, wobei die hierbei erzeugte Schweißnaht anforderungsgleichende Qualität nur eine einzige Schweißlage aufweist. Somit sind Schweißgeschwindigkeiten von unter 3 Minuten zum Fügen zweier typischer Pipelinessegmente mit Nenndurchmesser 1.000 mm im mobilen Einsatz unter Feldbedingungen möglich.

Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung besteht darin, dass mittels nur eines Orbitalumlaufs und bevorzugt eines einzigen Schweißvorgangs binnen kurzer Zeit das Fügen zweier Rohrenden möglich ist. Die beim horizontalen Verlegen von Pipelines unter Feldbedingungen beim MAG-Orbitalorschweißen bisher aus

wirtschaftlichen Gründen bestehende Notwendigkeit des Einsatzes einer Vielzahl entlang der Pipeline an mehreren Fügestellen arbeitenden, unterschiedliche Schweisslagen schweissenden Schweissstationen entfällt, da mittels einer 5 einzigen Schweissstation das vollständige Verbinden zweier Rohrsegmente möglich ist. Der Transport einer Vielzahl von Schweissstationen und die damit verbundenen Kosten entfallen. Der Personalaufwand ist wesentlich geringer als bei den bisher bekannten Verfahren. Die Schweissnahtqualität und die 10 Prozesssicherheit übertrifft die der bisher bekannten MAG-Orbitalschweissvorrichtungen. Selbstverständlich ist es möglich, zur weiteren Erhöhung der Fertigungsgeschwindigkeit mehrere Laserschweissköpfe, die an einer Umfangsfuge arbeiten, oder in unterschiedlichen Schweissstationen zum Einsatz 15 kommen, zu verwenden. Die Verwendung einer einzigen Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle für mehrere Laserschweissköpfe oder mehrerer Hochleistungs-Faserlaserstrahlquellen für einen Laserschweisskopf ist möglich. Ebenfalls ist es realisierbar, die erfindungsgemäße 20 Orbitalschweissvorrichtung mit Elementen bereits bekannter Orbitalschweissvorrichtungen, z.B. einer bereits aus dem Stand der Technik bekannte MSG-Orbitalschweissvorrichtungen, zu kombinieren.

25 In einer Weiterbildung der Erfindung ist auf dem Orbitalwagen mittel- oder unmittelbar ein insbesondere relativ zum Orbitalwagen motorisch ausrichtbarer MSG-Lichtbogenschweisskopf angeordnet. Unter einem MSG-Lichtbogenschweisskopf ist allgemein ein Metallschutzgas- 30 Schweisskopf zu verstehen, bei welchem ein Lichtbogen zwischen einer Drahtelektrode, die über einen Drahtvorschub kontinuierlich zugeführt wird, und dem Werkstück brennt und von einem Schutzgasmantel umhüllt wird. Der MSG-Lichtbogenschweisskopf ist auf dem Orbitalwagen entweder

unmittelbar oder mittelbar, beispielsweise auf dem Laserschweisskopf, montiert und insbesondere relativ zum Orbitalwagen in mehreren Richtungen verstellbar. Es ist möglich, den MSG-Lichtbogenschweisskopf derart anzuordnen, 5 dass entweder der Laserstahl und der MSG-Lichtbogen in der Laserschweisszone gemeinsam wirken, oder der Laserstahl und der MSG-Lichtbogen in getrennten Prozesszonen wirken.

10 Die erfindungsgemäße Vorrichtung wird nachfolgend anhand von in den Zeichnungen schematisch, nicht massstabsgetreu dargestellten konkreten Ausführungsbeispielen rein beispielhaft näher beschrieben, wobei auch auf weitere Vorteile der Erfindung eingegangen wird. Im Einzelnen zeigen:

15 Fig. 1 eine erste Ausführungsform einer Orbitalschweissvorrichtung mit einem Orbitalwagen, einem Laserschweisskopf zum Verbinden eines ersten Rohrendes und eines zweiten Rohrendes und einem Transportfahrzeug in einer Übersichts-Schrägansicht;

20 Fig. 2 den Orbitalwagen mit dem Laserschweisskopf in einer Detailansicht quer zur Rohrachse;

25 Fig. 3 den Orbitalwagen mit dem Laserschweisskopf, einer Drahtdüse und einer Prozessgasdüse in einer Detailansicht A-A parallel zur Rohrachse;

30 Fig. 4 eine zweite Ausführungsform einer Orbitalschweissvorrichtung mit einem Orbitalwagen, einem Laserschweisskopf, einem MSG-Lichtbogenschweisskopf und einem Transportfahrzeug in einer Übersichts-Schrägansicht; und

Fig. 5 den Orbitalwagen mit dem Laserschweisskopf und dem MSG-Lichtbogenschweisskopf in einer Detailansicht parallel zur Rohrachse.

5 Eine erste Ausführungsform der Erfindung zeigen die Figuren 1, 2 und 3 in unterschiedlichen Anschichten und Detaillierungsgraden. Fig. 1 stellt die gesamte Orbitalschweissvorrichtung in einer übersichtsartigen Schrägangsicht auf eine Pipelinebaustelle dar. Ein erstes

10 Rohrende 1 und ein zweites Rohrende 2 einer horizontal auf Land zu verlegenden Pipeline 5 sind mittels einer bekannten, nicht dargestellten Innenzentriervorrichtung, mindestens eines Rohrkrans (nicht dargestellt) und Rohrabstützungen 45 derart ausgerichtet und zentriert, dass zwischen dem ersten Rohrende

15 1 und dem zweiten Rohrende 2 eine Umfangsfuge 3 mit einem definierten Spaltabstand von unter 0,3 mm und ohne Kantenversatz vorhanden ist. Auf dem ersten Rohrende 1 ist parallel zur Umfangsfuge 3 und in einem konstanten Abstand zur Aussenfläche 14 des ersten Rohrendes 1 ein Führungsring 6 in

20 Form eines Spannbandes mit einer Führungsschiene angeordnet. Auf dem Führungsring 6 befindet sich ein Orbitalwagen 7, der rings um das erste Rohrende 1, wie mit dem Pfeil 51 symbolisiert, entlang dem Führungsring 6 motorisch verschiebbar geführt ist. Auf dem Orbitalwagen 7 ist ein

25 Laserschweisskopf 12 montiert, der derart auf die Umfangsfuge 3 ausrichtbar ist, dass durch Richten eines von dem Laserschweisskopf 12 fokussierten Laserstrahls 10 in eine Laserschweisszone 13 und orbitalem motorischem Verschieben des Orbitalwagens 7 eine Schweißnaht 4, hier eine Aussen-

30 Schweißnaht 4, entlang der Umfangsfuge 3 herstellbar ist. Die Höhe der Rohrabstützung 45 ist derart gewählt, dass ein Verschieden des Orbitalwagens 7 um 360° rings um das erste Rohrende möglich ist. Der Laserstrahl 10 wird von einer Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle 9 erzeugt, die von dem

Orbitalwagen 7 beabstandet auf einem Transportfahrzeug 35 schwingungsgedämpft untergebracht ist. Der erzeugte Laserstahl 10 wird über einen flexiblen Lichtwellenleiter 11 (siehe Fig. 2), der in einem Schlauchpaket 50, das über einen Kran 46 des 5 Transportfahrzeugs 35 zum Orbitalwagen 7 geführt wird, von der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle 9 zum Laserschweisskopf 12 geleitet. Das Schlauchpaket 50 wird über den Kran 46 derart 10 nachgeführt, wie von dem Pfeil 52 symbolisiert, dass der Orbitalwagen 7 ungehindert verschoben werden kann. Der Kran 46 kann weiters zur Montage des Führungsringes 6 und des 15 Orbitalwagens und zum Halten einer Abschirmvorrichtung (nicht dargestellt) verwendet werden, welche die Schweissstelle vor der Umgebung und umgekehrt abschirmt, einerseits um das Bedienpersonal vor gefährlichen Reflektionen des Laserstahls 20 zu schützen, andererseits um Zugluft, Feuchtigkeit und Verunreinigungen von der Schweissstelle fernzuhalten. Auf dem Transportfahrzeug ist ausserdem ein Generator 36 zumindest zur Erzeugung der zum Betrieb der Hochleistungs- 25 Faserlaserstrahlquelle 9 benötigten Leistung und ein Kühlssystem 37 zumindest zum Kühlen der Hochleistungs- Faserlaserstrahlquelle 9 angeordnet. Auf weitere Bezugszeichen der Fig. 1 wird im Folgenden in der Beschreibung der anderen Figuren eingegangen. Weiters wird in der Beschreibung der folgenden Figuren auf Bezugszeichen vorangegangener Figuren zurückgegriffen.

Fig. 2 zeigt den auf dem Führungsring 6 verschiebbar gelagerten Orbitalwagen 7 aus Fig. 1 in einer vereinfachten 30 Detailansicht quer zur Rohrachse. Auf dem Orbitalwagen 7 ist eine Vorschubeinrichtung 8 angeordnet, die in den Führungsring 6 derart eingreift, dass der Orbitalwagen 7 mit einer definierten Vorschubgeschwindigkeit um das erste Rohrende und die Umfangsfuge 3, die von einem V-formigen Stoss mit sehr kleinem Öffnungswinkel gebildet wird, orbital elektromotorisch

bewegt werden kann. Um die orbitale Lage α des Orbitalwagens 7 relativ zu einer Bezugslage erfassen zu können, ist ein Orbitallageerfassungssensor 18 am Orbitalwagen 7 montiert, der beispielsweise als ein elektronischer Winkelencoder ausgeführt 5 ist. Der Laserschweisskopf 12 ist über Verstellmittel 16, mittels welcher der Laserstrahl 10 relativ zur Umfangsfuge 3 durch Verstellen des gesamten Laserschweisskopfs 12 relativ zum Orbitalwagen 7 ausrichtbar sind, am Orbitalwagen 7 montiert. Die beispielsweise servomotorischen Verstellmittel 10 16 ermöglichen, entsprechend den Pfeilen 53, sowohl ein Verstellen des Laserschweisskopfes 12 senkrechter Richtung zum Rohr, so dass beispielsweise die Fokuslage verstellt werden kann, als auch ein Verstellen parallel zur Rohrachse zum exakten Ausrichten des Laserstrahls 10 auf die Umfangsfuge 3. 15 Selbstverständlich ist es alternativ möglich, die Verstellmittel 16 derart auszugestalten, dass der Laserschweisskopf 12 in weiteren Freiheitsgraden verstellbar ist oder der Laserstrahls 10 ergänzend oder ausschliesslich auf optischem Weg beispielsweise über eine Fokussier- oder 20 Umlenkeinheit des Laserschweisskopfes verstellbar ist. Der in dem Schlauchpaket 50 zum Orbitalwagen 7 geführte Lichtwellenleiter 11 leitet den von der Hochleistungs- Faserlaserstrahlquelle 9 emittierten Laserstrahl 10 zum Laserschweisskopf 12, der den Laserstrahl 10 auf die 25 Umfangsfuge 3 oder auf einen Punkt nahe der Umfangsfuge 3 fokussiert, so dass der Werkstoff des ersten Rohrendes 1 und des zweiten Rohrendes 2 innerhalb einer thermischen Einflusszone des Laserstrahls 10, der Laserschweisszone 13 aufschmilzt und eine Schweißnaht 4 entsteht. Da der 30 Laserschweisskopf 12 einer hohen thermischen Belastung ausgesetzt ist, wird ist Schlauchpaket 50 eine Kühl-Heiz- Kreislaufleitung 47 mit Vor- und Rückfluss untergebracht, die alle zu kühlenden oder heizenden Teile des Laserschweisskopfes 12 oder weitere am Orbitalwagen 7 angeordneten Teile mit Kühl-

oder Heizflüssigkeit des auf dem Transportwagen befindlichen Kühlsystems 37 versorgt. Eine Kommunikationsleitung 49 im Schlauchpaket 50 in Form eines Kabels liefert insbesondere Strom an die Vorschubeinheit 8 und ermöglicht die 5 Kommunikation sämtlicher am Orbitalwagen 7 mittel- oder unmittelbar angeordneten Sensoren und Aktoren mit einem Steuerrechner 44, der sich auf dem Transportfahrzeug 35 befindet und den gesamten Schweißprozess steuert und überwacht. Um den Laserschweisskopf 12 vor Spritzern oder 10 anderen Verunreinigungen zu schützen, wird vom Transportfahrzeug 35 gelieferte Druckluft über eine Druckluftleitung 48 im Schlauchpaket 50 zum Laserschweisskopf 12 geleitet, so dass insbesondere eine vor der Fokussieroptik des Laserschweisskopf 12 angeordnete Schutzscheibe mit einer 15 konstanten Druckluftstrom beaufschlagt werden kann.

In Fig. 3 wird der Laserschweisskopf 12 in einer Detailansicht A-A gemäss Fig. 2 parallel zur Rohrachse gezeigt. Mittelbar auf dem Orbitalwagen 7 ist am Laserschweisskopf 12 eine 20 Prozessgasdüse 20 zur Zufuhr von Prozessgas in den Bereich der Laserschweisszone 13 montiert. Die Versorgung der Prozessgasdüse 20 erfolgt über einen von dem Orbitalwagen 7 beabstandeten, auf dem Transportfahrzeug 35 befindlichen Prozessgasspeicher 22, der über eine Prozessgasleitung 21, die 25 über das Schlauchpaket 50 zum Orbitalwagen 7 geführt wird, mit der Prozessgasdüse 20 in Verbindung steht. Als Prozessgase eignen sich insbesondere inerte und aktive Gase, wie z.B. bevorzugt Argon, Helium, N₂, CO₂ oder O₂ in geeignetem 30 Mischungsverhältnis. Ebenfalls mittelbar auf dem Orbitalwagen 7, auf der anderen Seite des Laserschweisskopfes 12, ist eine Drahtdüse 23 zur Zufuhr eines Drahts 24 in die Laserschweisszone 13 montiert. Durch die Zufuhr des Drahts 24 und das somit erfolgende Einbringen eines Zusatzwerkstoffes ist es möglich, die Spaltüberbrückbarkeit der Umfangsfuge 3 zu

erhöhen. Der Draht 24 wird von einer auf dem Transportfahrzeug 35 untergebrachten Drahtvorschubeinheit 26 über eine Drahtzuführleitung 25, die über das Schlauchpaket 50 zum Orbitalwagen 7 gelangt, zugeführt. Zur Erwärmung des Drahts 24 5 ist unmittelbar vor der Drahtdüse 23 eine Drahterwärmungseinheit 27 angeordnet, die den Draht 24 beispielsweise induktiv erwärmt. Anstelle eines Heissdrahts kann bevorzugt alternativ ein unerwärmter Kaltdraht zugeführt werden. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird der Draht 24 10 schleppend zugeführt. Alternativ ist auch eine stehende oder seitliche Drahtzufuhr realisierbar. Anstelle einer separaten Prozessgasdüse 20 kann die Prozessgaszufuhr koaxial zum Laserstrahl oder über die Drahtdüse 23 erfolgen. Die Prozessgasdüse 20 und die Drahtdüse 23 sind alternativ 15 unmittelbar am Orbitalwagen 7 montiert und relativ zu diesem in mindestens einem Freiheitsgrad ausrichtbar.

Eine zweite Ausführungsform einer Orbitalschweissvorrichtung zeigt Fig. 4 in einer Übersichts-Schrägansicht auf die gesamte 20 Vorrichtung und Fig. 5 in einer Detailansicht parallel zur Rohrachse auf den Orbitalwagen. Im Folgenden werden die Figuren 4 und 5 gemeinsam beschrieben, wobei lediglich auf die Unterschiede zur ersten Ausführungsform eingegangen, weshalb hiermit auf die oben bereits erläuterten Bezugszugszeichen 25 verwiesen sei. Anstelle der Zufuhr eines von einer Drahtvorschubeinheit 26 über eine Drahtzuführleitung 25 über eine Drahtdüse 23 gelieferten Drahts 24 und eines von einem Prozessgasspeicher 22 über eine Prozessgasleitung 21 zu einer Prozessgasdüse 20 geleiteten Prozessgases kommt ein aus dem 30 Stand der Technik bekannter Metallschutzgas-Lichtbogenschweisskopf 28 zum Einsatz. Der MSG-Lichtbogenschweisskopf 28 ist mittelbar auf dem Orbitalwagen 7 angeordnet, indem er auf dem Laserschweisskopf 12 montiert ist. Der MSG-Lichtbogenschweisskopf 28 ist relativ zum

Laserschweisskopf 12 und somit relativ zum Orbitalwagen 7 in mehreren Freiheitsgraden motorisch ausrichtbar, wie mittels der Pfeile 54 symbolisiert. Zur Versorgung des MSG-Lichtbogenschweisskopfs 28 sind auf dem Transportfahrzeug 35 5 eine frei programmierbare MSG-Stromquelle 32, ein MSG-Prozessgasspeicher 33 und eine MSG-Drahtvorschubeinheit 34 angeordnet, die über eine MSG-Stromleitung 29, eine MSG-Prozessgasleitung 30 und eine MSG-Drahtzuführleitung 31 mit dem MSG-Lichtbogenschweisskopf 28 zur MSG-Lichtbogenbildung 10 bzw. zur MSG-Prozessgaszufuhr bzw. zur MSG-Drahtzufuhr in Verbindung stehen. Die Leitungen 28, 29, 30 werden über das Schlauchpaket 50 zum Orbitalwagen 7 geführt. Ausserdem verbindet eine Masseleitung 55 das erste Rohrende 1 und das zweite Rohrende 2 mit der MSG-Stromquelle 32. Der MSG-Lichtbogenschweisskopf 28 ist derart ausgerichtet, dass der Laserstahl 10 und der MSG-Lichtbogen in der Laserschweisszone 13 gemeinsam wirken. Alternativ ist es jedoch möglich, den MSG-Lichtbogenschweisskopf 28 derart auszurichten, dass der Laserstahl 10 und der MSG-Lichtbogen in getrennten 15 Prozesszonen wirken, wobei der Laserstrahl 10 dem MSG-Lichtbogen bevorzugt vorausläuft. Alternativ ist es auch möglich, den Laserstrahl 10 nachlaufend relativ zum MSG-Lichtbogen auszurichten. Durch die Kombination des Laserschweißens mit dem MSG-Lichtbogenschweißen kann die 20 Schweissgeschwindigkeit weiter erhöht, die Prozessstabilität verbessert, über die MSG-Drahtzufuhr ein Zusatzwerkstoff eingebracht und ein geringerer Temperaturgradient erreicht werden, so dass die Aufhärtungsneigung verringert wird. Weiters wird eine höhere Spaltüberbrückbarkeit erzielt. Die 25 Kombination des Laserschweißens mit dem MSG-Lichtbogenschweißen ist besonders dann vorteilhaft, wenn eine signifikante Erhöhung der Schweissgeschwindigkeit angestrebt wird oder der Einsatz grösserer Mengen von Zusatzwerkstoff aus 30

metallurgischen Gründen, aus Gründen der Spaltfüllung oder auch infolge bestimmter Normvorschriften erforderlich ist.

Die Steuerung und Überwachung des gesamten Schweissprozesses
5 erfolgt über den Steuerrechner 44, der über die Kommunikationsleitung 49 mit Sensoren und Aktoren des Orbitalwagens 7, der dort angeordneten Komponenten und mit den auf dem Transportfahrzeug 35 befindlichen Einheiten in Kommunikationsverbindung steht. Zur Erhöhung der
10 Prozesssicherheit und der Schweissgeschwindigkeit sind in dem Steuerrechner 44 mehrere Steuerung-, Regelungs-, Überwachungs- und Protokollierungsmittel integriert, die im Folgenden beschrieben werden. Diese Mittel sind beispielsweise entweder als verkabelte Schaltung oder als eine entsprechend
15 programmierte Steuerungs-Regelungs-Vorrichtung ausgeführt.

Die Steuerrechner 44 weist eine erste Prozessparametersteuerung 19 auf, die derart ausgebildet und über den Steuerrechner 44 mit dem Orbitallageerfassungssensor
20 18, der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle 9, der MSG-Stromquelle 32 und der Vorschubeinrichtung 8 verschaltet ist, dass Laserstrahlungsparameter, MSG-Lichtbogenparameter und die Vorschubgeschwindigkeit des Orbitalwagens 7 in Abhängigkeit von der orbitalen Lage α des Orbitalwagens 7 automatisch
25 anpassbar sind. Somit ist es möglich, beispielsweise bei Fallnaht oder Steignaht mit unterschiedlichen Schweissparametern zu schweissen.

Fig. 5 zeigt einen auf dem Laserschweisskopf 12 montierten, der bereits gebildeten oder beabsichtigten, durch die Ausrichtung des Laserstrahls 10 definierten Laserschweisszone 13 vorauslaufenden Nahtfolgesensor 15, mittels welchem die Lage der Umfangsfuge 3 relativ zu der beabsichtigten Laserschweisszone 13 erfassbar ist. Der Nahtfolgesensor 15 ist

beispielsweise als ein lichtoptischer Sensor ausgeführt, der die Lage der Umfangsfuge 3 über Triangulation detektiert. Ein mit der Lage verknüpftes Signal des Nahtfolgesensors 15 wird dem Steuerrechner 44, der mit den Verstellmitteln 16

5 verschaltet ist, zugeführt. Der Steuerrechner 44 weist eine Lageregelung 17 auf, die derart ausgebildet und über den Steuerrechner 44 mit dem Nahtfolgesensor 15 und den Verstellmitteln 16 verschaltet ist, dass das Ausrichten des Laserstrahls 10 und insbesondere des MSG-

10 Lichtbogenschweisskopfs 28 in Abhängigkeit von der erfassten Lage der Umfangsfuge 3 automatisch regelbar ist. Somit wird der Laserstrahl 10 automatisch auf die Umfangsfuge 3 ausgerichtet, so dass selbst bei einem nicht exakt parallel zur Umfangsfuge 3 montiertem Führungsring 6 oder einer

15 ungeraden Umfangsfuge 3 eine Fehlausrichtung des Laserstrahls 10 und des MSG-Lichtbogens vermieden wird.

Weiters ist ein Prozesssensor 40 an dem Laserschweisskopf 12 derart angeordnet, dass eine elektromagnetische Strahlung, insbesondere eine thermische Strahlung, eine optische Strahlung oder eine Plasmastrahlung aus der Laserschweisszone 13 über den Prozesssensor 40 erfassbar ist. Eine zweite Prozessparametersteuerung 41, die im Steuerrechner 44 integriert ist, ist derart ausgebildet und über den Steuerrechner 44 mit dem Prozesssensor 40, der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle 9, der MSG-Stromquelle 32, der Vorschubeinrichtung 8 und den Verstellmitteln 16 verschaltet, dass Laserstrahlungsparameter, MSG-Lichtbogenparameter, die Vorschubgeschwindigkeit des Orbitalwagens 7 und die

25 Ausrichtung des Laserstrahls 10 in Abhängigkeit von der erfassten Strahlung automatisch anpassbar sind.

Über einen ebenfalls am Laserschweisskopf 12 montierten, der Laserschweisszone 13 nachlaufenden optischen

Nahtqualitätssensor 38, der beispielsweise als lichtoptischer Sensor ausgeführt ist, sind optischen Aufnahmen der erzeugten Schweissnaht 4 herstellbar. Auf dem Steuerungsrechner 44 sind Protokollierungsmittel 39 vorgesehen, die über den

5 Steuerrechner 44 mit dem Nahtqualitätssensor 38 zum Speichern und optischen Wiedergeben der Aufnahmen der erzeugten Schweissnaht 4 verschaltet sind, so dass nach Durchführung des Schweissvorgangs eine erneute Wiedergabe des aufgenommenen Schweissvorgangs möglich ist. Dies ist insbesondere zur

10 Ermittlung allfälliger Fehler in der Schweissnaht 4 vorteilhaft, da bei zusätzlichem Erfassen und Aufzeichnen der orbitalen Lage α ein rasches Auffinden der Fehlerstelle möglich ist.

15 In einer Weiterbildung sind ausserdem Bildverarbeitungsmittel 42 im Steuerrechner 44 integriert, die derart ausgebildet und über den Steuerrechner 44 mit den Protokollierungsmitteln 39 verschaltet sind, dass die Aufnahmen der erzeugten Schweissnaht 4 elektronisch bewertbar sind und ein

20 Auswertungssignal, das mit der Qualität der Schweissnaht 4 verknüpft ist, ausgebbar ist. Im Falle eines Fehlers in der Schweissnaht 4 ist somit die Ausgabe oder Aufzeichnung einer Fehlermeldung möglich. Gegebenfalls wird der Schweissprozess nach Ausgabe der Fehlermeldung angehalten und ein Warnsignal

25 ausgegeben, um ein schnelles Beheben des Fehlers zu ermöglichen und Stillstandzeiten gering zu halten.

Eine dritte, ebenfalls in dem Steuerrechner 44 integrierte Prozessparametersteuerung 43 ist derart ausgebildet und über den Steuerrechner 44 mit den Bildverarbeitungsmitteln 42, der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle 9, der MSG-Stromquelle 32, der Vorschubeinrichtung 8 und den Verstellmitteln 16 verschaltet ist, dass Laserstrahlungsparameter, MSG-Lichtbogenparameter, die Vorschubgeschwindigkeit des

Orbitalwagens 7 und die Ausrichtung des Laserstrahls 10 in Abhängigkeit von dem Auswertungssignal automatisch anpassbar sind. Einer nicht ausreichenden Qualität der Schweissnaht 4 oder Schweissnahtfehlern kann mittels dieser Steuerung 5 automatisch durch Anpassung von Prozessparametern entgegengewirkt werden.

Alternativ ist er möglich, anstelle aller drei Prozessparametersteuerungen 19, 41, 43 nur eine oder zwei 10 beliebige der drei Prozessparametersteuerungen 19, 41, 43 einzusetzen, da selbige voneinander unabhängig sind.

Der Einsatz weiterer Sensoren und Steuerungen zur Erhöhung der Prozesssicherheit ist selbstverständlich möglich. Die oben 15 beschriebenen Anordnungsvarianten stellen lediglich eine möglich, nicht beschränkende Ausführungsform dar. So können die beschriebenen Sensoren beispielsweise anstelle am Laserschweisskopf 12 mittelbar oder unmittelbar auch an anderen Elementen des Orbitalwagens 7 angeordnet sein. 20 Anstelle eines Steuerrechners 44 ist der Einsatz mehrerer unabhängiger Steuerungs- oder Regelungseinheiten, die sich beispielsweise direkt am Orbitalwagen 7 befinden, möglich.

Patentansprüche

1. Orbitalschweissvorrichtung für den mobilen Einsatz zum Verbinden eines ersten Rohrendes (1) und eines zweiten Rohrendes (2) entlang einer Umfangsfuge (3) mittels mindestens einer Schweißnaht (4), insbesondere zur Herstellung einer auf Land zu verlegenden Pipeline (5), mit wenigstens

- 5 • einem zu dem ersten Rohrende (1) und der Umfangsfuge (3) ausrichtbaren Führungsring (6),
- 10 • einem zumindest entlang einem Teilabschnitt des Führungsringes (6) verschiebbar geführten Orbitalwagen (7),
- 15 • einer Vorschubeinrichtung (8), mittels welcher der Orbitalwagen (7) entlang dem Führungsring (6) motorisch verschiebbar ist,
- 20 • einem auf dem Orbitalwagen (7) angeordneten Schweißkopf, der derart auf die Umfangsfuge (3) ausrichtbar ist, dass durch Verschieben des Orbitalwagens (7) die Schweißnaht (4) zumindest entlang einem Teilabschnitt der Umfangsfuge (3) herstellbar ist,
- 25 • einer Verbindungsleitung und
- einem von dem Orbitalwagen (7) beabstandeten - insbesondere mobilen - Schweißaggregat, das über die Verbindungsleitung mit dem Schweißkopf in Verbindung steht und mittel- oder unmittelbar die zur Herstellung der Schweißnaht (4) erforderliche Leistung zur Verfügung stellt,

dadurch gekennzeichnet, dass

- 30 • das Schweißaggregat als eine Hochleistungs- Faserlaserstrahlquelle (9), mittels welcher ein Laserstrahl (10) erzeugbar ist,

- die Verbindungsleitung als ein Lichtwellenleiter (11) zum Leiten des Laserstrahls (10) zum Orbitalwagen (7) und
- der Schweißkopf als ein Laserschweißkopf (12) zum Richten des Laserstrahls (10) in eine Laserschweißzone (13) und zum somit erfolgenden Erzeugen der Schweißnaht (4) ausgebildet sind.

10. 2. Orbitalschweißvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Führungsring (6) auf der Außenfläche (14) des ersten Rohrendes (1) anordnbar ausgestaltet und
- die erzeugbare Schweißnaht als Außen-Schweißnaht (4) ausgebildet ist.

15. 3. Orbitalschweißvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch wenigstens

- eine auf dem Orbitalwagen (7) mittel- oder unmittelbar angeordnete Prozessgasdüse (20) zur Zufuhr von Prozessgas in den Bereich der Laserschweißzone (13),
- eine Prozessgasleitung (21) und
- einen von dem Orbitalwagen (7) beabstandeten - insbesondere mobilen - Prozessgasspeicher (22), der über die Prozessgasleitung (21) mit der Prozessgasdüse (20) zur Prozessgaszufuhr in Verbindung steht.

20. 4. Orbitalschweißvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch wenigstens

- eine auf dem Orbitalwagen (7) mittel- oder unmittelbar angeordnete Drahtdüse (23) zur Zufuhr eines Drahts (24) in die Laserschweißzone (13),
- eine Drahtzuführleitung (25) und

- eine von dem Orbitalwagen (7) beabstandete - insbesondere mobile - Drahtvorschubeinheit (26), die über die Drahtzuführleitung (25) mit der Drahtdüse (23) zur Drahtzufuhr in Verbindung steht.

5

5. Orbitalschweissvorrichtung nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch eine der Drahtdüse (23) vorangeschaltete Drahterwärmungseinheit (27) zur Erwärmung des Drahts (24).

10 6. Orbitalschweissvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch mindestens

- einen auf dem Orbitalwagen (7) mittel- oder unmittelbar angeordneten - insbesondere relativ zum Orbitalwagen (7) motorisch ausrichtbaren - MSG-Lichtbogenschweisskopf (28),

15

- eine MSG-Stromleitung (29),
- eine MSG-Prozessgasleitung (30),
- eine MSG-Drahtzuführleitung (31),

20

- eine von dem Orbitalwagen (7) beabstandete - insbesondere mobile und frei programmierbare - MSG-Stromquelle (32), die über die MSG-Stromleitung (29) mit dem MSG-Lichtbogenschweisskopf (28) zur MSG-Lichtbogenbildung in Verbindung steht,

25

- einen von dem Orbitalwagen (7) beabstandeten - insbesondere mobilen - MSG-Prozessgasspeicher (33), der über die MSG-Prozessgasleitung (30) mit dem MSG-Lichtbogenschweisskopf (28) zur MSG-Prozessgaszufuhr in Verbindung steht, und

30

- eine von dem Orbitalwagen (7) beabstandete - insbesondere mobile - MSG-Drahtvorschubeinheit (34), die über die MSG-Drahtzuführleitung (31) mit dem MSG-Lichtbogenschweisskopf (28) zur MSG-Drahtzufuhr in

Verbindung steht.

7. Orbitalschweissvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der MSG-Lichtbogenschweisskopf (28) 5 derart auf dem Orbitalwagen (7) mittel- oder unmittelbar angeordnet ist, dass der Laserstahl (10) und der MSG-Lichtbogen in der Laserschweisszone (13) gemeinsam wirken.

8. Orbitalschweissvorrichtung nach Anspruch 6, dadurch 10 gekennzeichnet, dass der MSG-Lichtbogenschweisskopf (28) derart auf dem Orbitalwagen (7) mittel- oder unmittelbar angeordnet ist, dass der Laserstahl (10) und der MSG-Lichtbogen in getrennten Prozesszonen wirken.

15 9. Orbitalschweissvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch

- eine Orbitallageerfassungssensor (18) zum Erfassen der orbitalen Lage (α) des Orbitalwagens (7) und
- eine erste Prozessparametersteuerung (19), die derart 20 ausgebildet und mit dem Orbitallageerfassungssensor (18) und zumindest mit der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle (9) - und insbesondere mit der MSG-Stromquelle (32) und der Vorschubeinrichtung (8) - verschaltet ist, dass Laserstrahlungsparameter - und 25 insbesondere MSG-Lichtbogenparameter und die Vorschubgeschwindigkeit des Orbitalwagens (7) - in Abhängigkeit von der orbitalen Lage (α) des Orbitalwagens (7) automatisch anpassbar sind.

30 10. Orbitalschweissvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch

- einen auf dem Orbitalwagen (7) mittel- oder unmittelbar derart angeordneten - insbesondere der beabsichtigten

Laserschweisszone (13) vorauslaufenden - Nahtfolgesensor (15), dass die Lage der Umfangsfuge (3) relativ zu der beabsichtigten Laserschweisszone (13) erfassbar ist,

- Verstellmittel (16), mittels welcher der Laserstrahl (10) - und insbesondere die Drahtdüse (23) oder der MSG-Lichtbogenschweisskopf (28) - relativ zur Umfangsfuge (3) ausrichtbar sind, und
- eine Lageregelung (17), die derart ausgebildet und mit dem Nahtfolgesensor (15) und den Verstellmitteln (16) verschaltet ist, dass das Ausrichten des Laserstrahls (10) - und insbesondere der Drahtdüse (23) oder des MSG-Lichtbogenschweisskopfs (28) - in Abhängigkeit von der erfassten Lage der Umfangsfuge (3) automatisch regelbar ist.

15

11. Orbitalschweissvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **gekennzeichnet** durch

- einen auf dem Orbitalwagen (7) mittel- oder unmittelbar - insbesondere an dem Laserschweisskopf (12) - derart angeordneten Prozesssensor (40), dass eine elektromagnetische Strahlung - insbesondere eine thermische Strahlung, eine optische Strahlung oder eine Plasmastrahlung - aus der Laserschweisszone (13) erfassbar ist, und
- eine zweite Prozessparametersteuerung (41), die derart ausgebildet und mit dem Prozesssensor (40) und zumindest der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle (9) - und insbesondere mit der MSG-Stromquelle (32), der Vorschubeinrichtung (8) und den Verstellmitteln (16) - verschaltet ist, dass Laserstrahlungsparameter - und insbesondere MSG-Lichtbogenparameter, die Vorschubgeschwindigkeit des Orbitalwagens (7) und die Ausrichtung des Laserstrahls (10) - in Abhängigkeit von

der erfassten Strahlung automatisch anpassbar sind.

12. Orbitalschweissvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis
11, gekennzeichnet durch

5 • einen auf dem Orbitalwagen (7) mittel- oder unmittelbar
angeordneten, der Laserschweisszone (13) nachlaufenden
optischen Nahtqualitätssensor (38) zum Herstellen von
optischen Aufnahmen der erzeugten Schweissnaht (4) und
• Protokollierungsmittel (39), die mit dem
10 Nahtqualitätssensor (38) zum Speichern und optischen
Wiedergeben der Aufnahmen der erzeugten Schweissnaht (4)
verschaltet sind.

13. Orbitalschweissvorrichtung nach Anspruch 12,

15 gekennzeichnet durch
Bildverarbeitungsmittel (42), die derart ausgebildet und
mit den Protokollierungsmitteln (39) verschaltet sind,
dass die Aufnahmen der erzeugten Schweissnaht (4)
elektronisch bewertbar sind und ein Auswertungssignal, das
20 mit der Qualität der Schweissnaht (4) verknüpft ist,
ausgebbar ist.

14. Orbitalschweissvorrichtung nach Anspruch 13,

gekennzeichnet durch

25 eine dritte Prozessparametersteuerung (43), die derart
ausgebildet und zumindest mit den Bildverarbeitungsmitteln
(42) und der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle (9) -
und insbesondere mit der MSG-Stromquelle (32), der
Vorschubeinrichtung (8) und den Verstellmitteln (16) -
30 verschaltet ist, dass Laserstrahlungsparameter - und
insbesondere MSG-Lichtbogenparameter, die
Vorschubgeschwindigkeit des Orbitalwagens (7) und die
Ausrichtung des Laserstrahls (10) - in Abhängigkeit von

dem Auswertungssignal automatisch anpassbar sind.

15. Orbitalschweissvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, gekennzeichnet durch ein ausserhalb des ersten Rohrs

5 (1) und der zweiten Rohrs (2) motorisch längs bewegbares Transportfahrzeug (35), auf welchem wenigstens

- die Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle (9),
- ein Generator (36) zumindest zur Erzeugung der zum Betrieb der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle (9) benötigten Leistung und
- ein zumindest der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle (9) zugeordnetes Kühlsystem (37), und insbesondere
- der Prozessgasspeicher (22),
- die Drahtvorschubeinheit (26),

15

- die MSG-Stromquelle (32),
- der MSG-Prozessgasspeicher (33) und
- die MSG-Drahtvorschubeinheit (34)

angeordnet sind, so dass die Orbital schweissvorrichtung im 20 Wesentlichen autark mobil betreibbar ist.

16. Transportfahrzeug (35) einer Orbital schweissvorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle (9),
- ein Generator (36) zumindest zur Erzeugung der zum Betrieb der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle (9) benötigten Leistung und
- ein zumindest der Hochleistungs-Faserlaserstrahlquelle (9) zugeordnetes Kühl system (37),

25 auf dem Transportfahrzeug (35) angeordnet sind.

30 17. Transportfahrzeug (35) nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass

- ein Prozessgasspeicher (22) und
- eine Drahtvorschubeinheit (26)

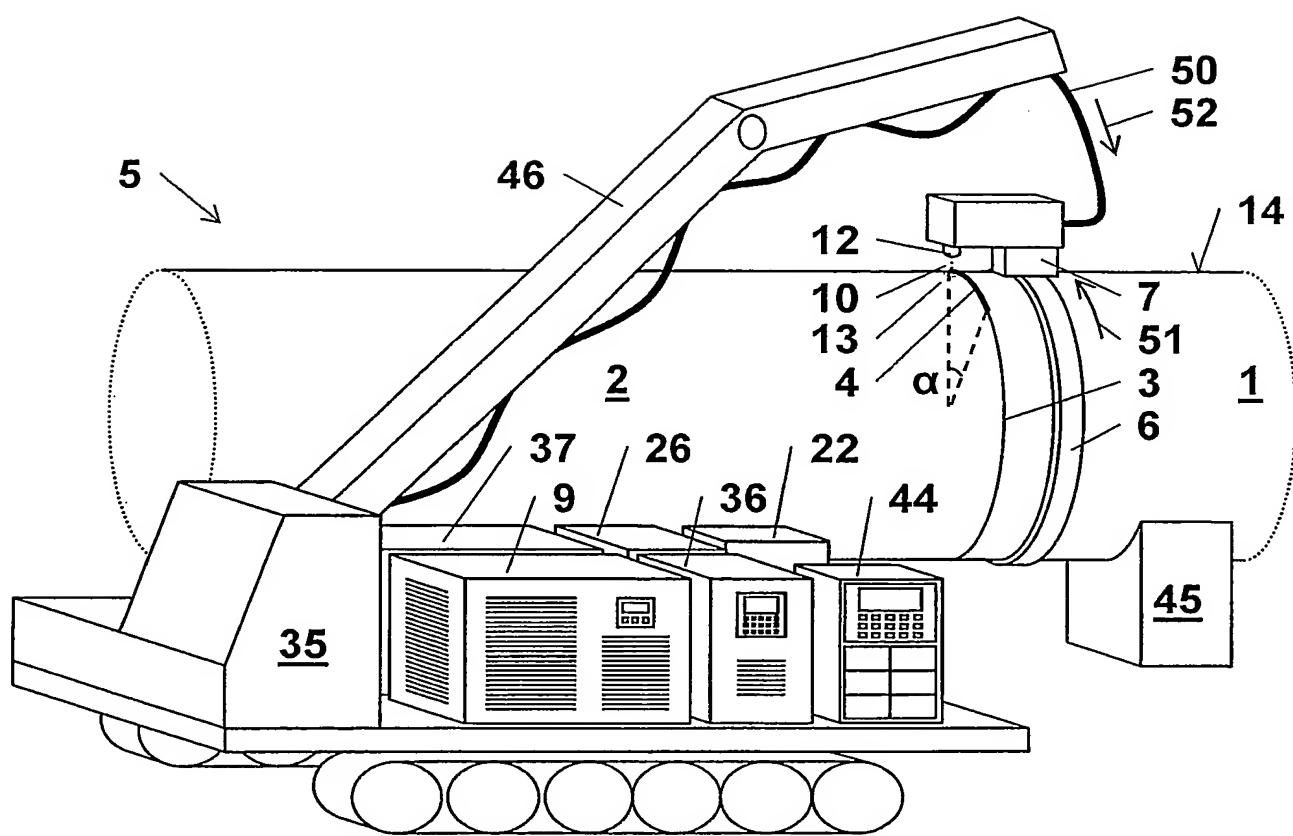
auf dem Transportfahrzeug (35) angeordnet sind.

5 18. Transportfahrzeug (35) nach Anspruch 16, dadurch
gekennzeichnet, dass

- eine MSG-Stromquelle (32),
- ein MSG-Prozessgasspeicher (33) und
- eine MSG-Drahtvorschubeinheit (34)

10 auf dem Transportfahrzeug (35) angeordnet sind.

1 / 4

**Fig. 1**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

2 / 4

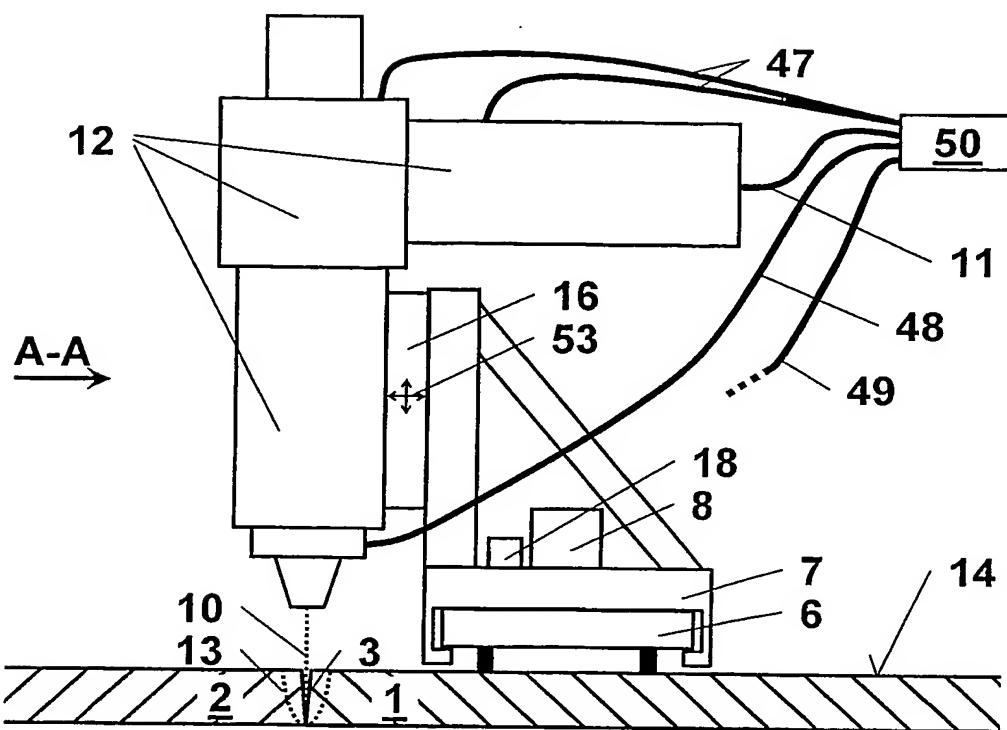


Fig. 2

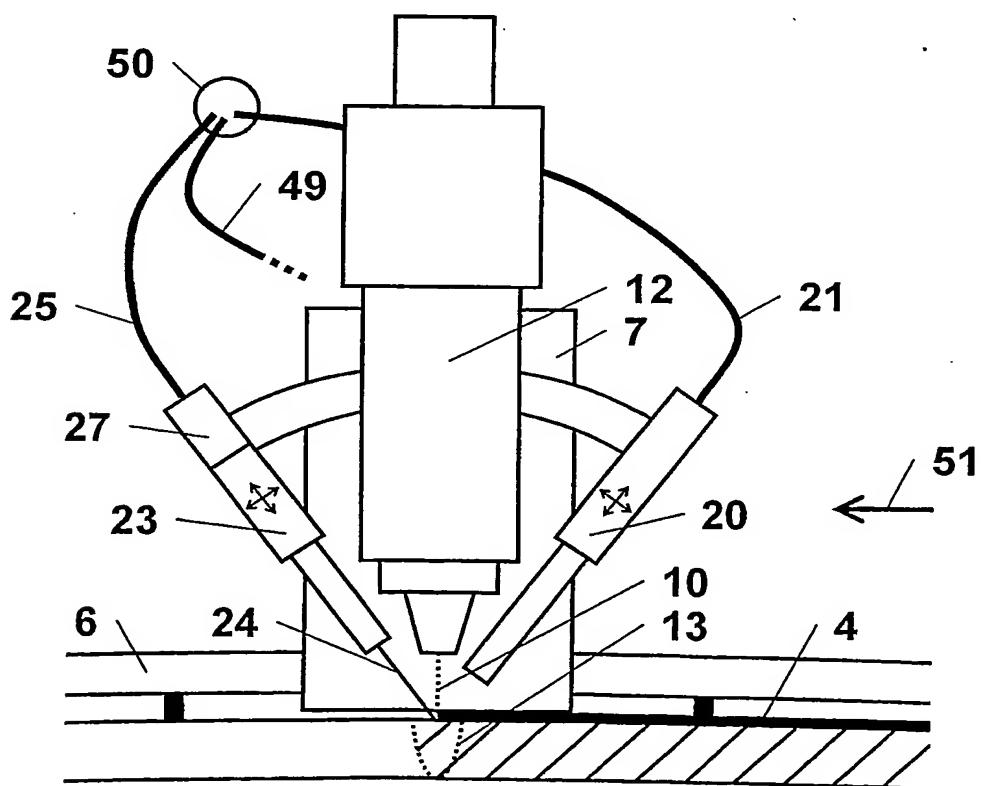


Fig. 3

THIS PAGE BLANK (USPTO)

3 / 4

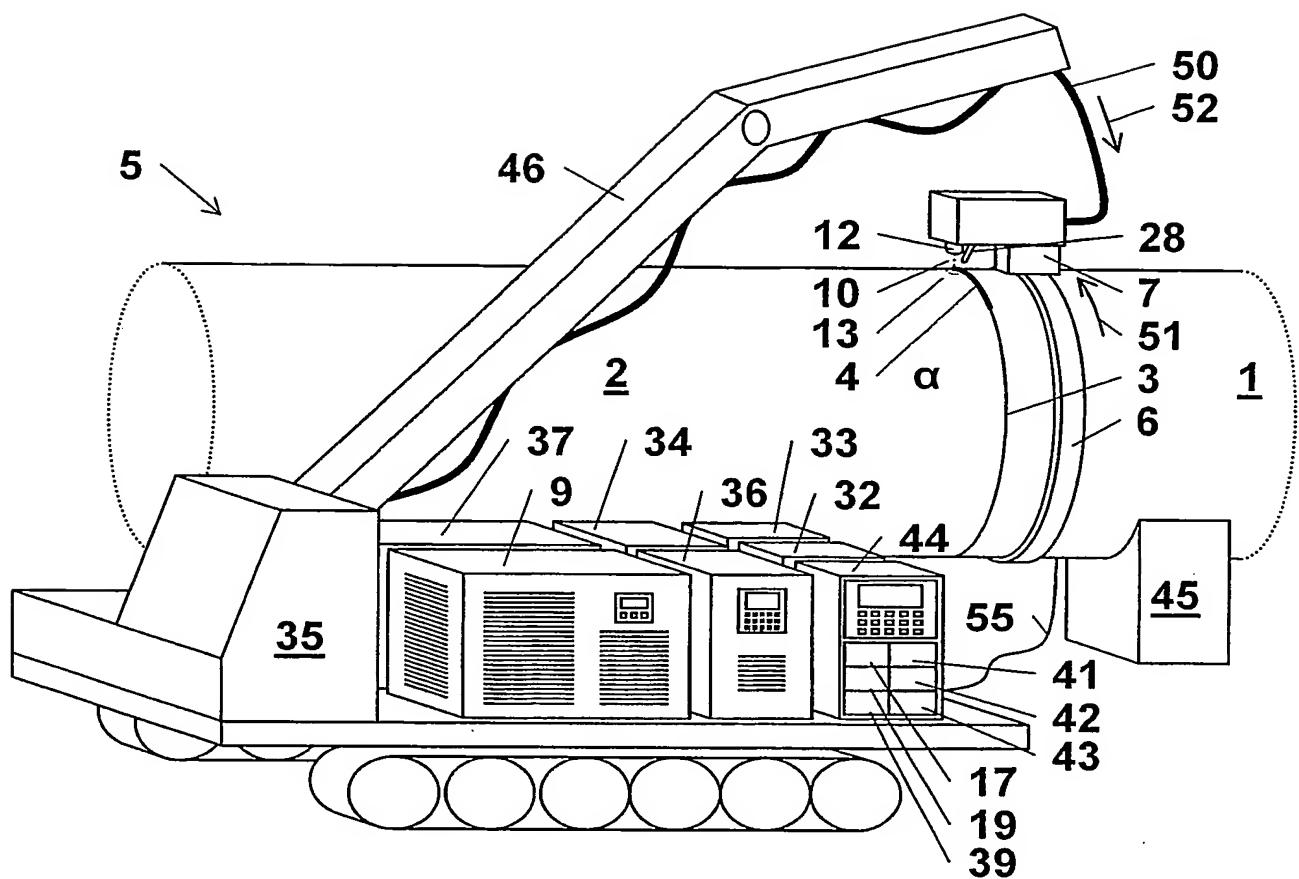
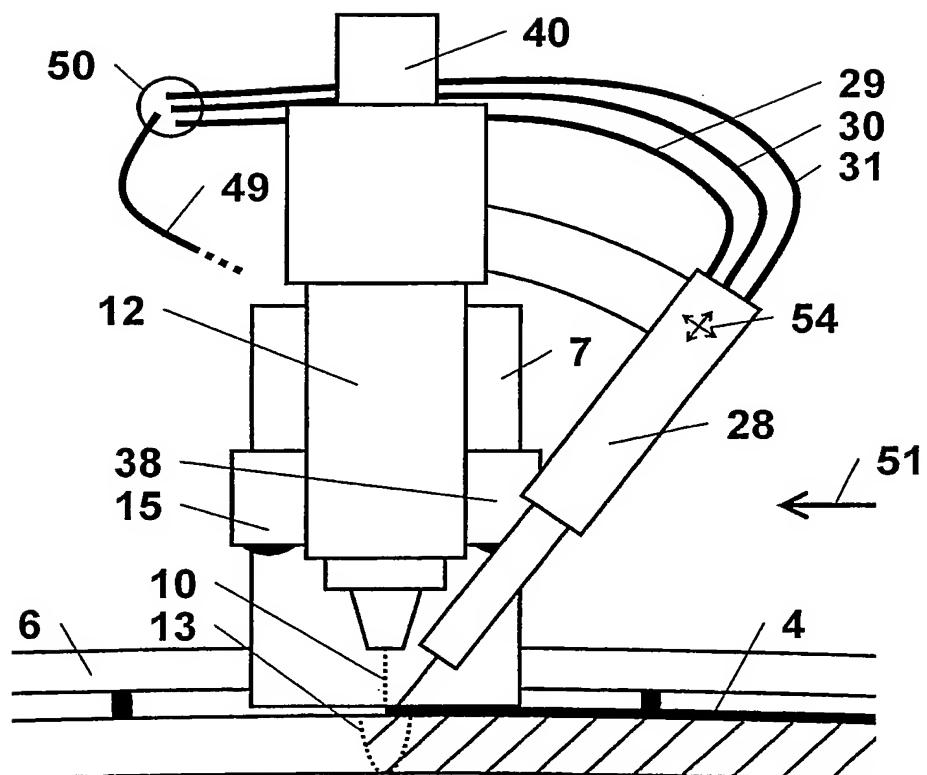


Fig. 4

THIS PAGE BLANK (USPTO)

4 / 4

**Fig. 5**

THIS PAGE BLANK (USPTO)